



TITLE:

新材料を創る

AUTHOR(S):

市川, 能也

CITATION:

市川, 能也. 新材料を創る. 京都大学アカデミックデイ2015: ポスター/展示 2015

ISSUE DATE:

2015-10-04

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/201321>

RIGHT:



新材料を創る

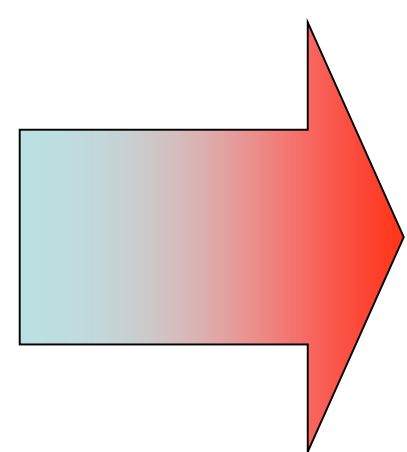
化学研究所
島川研究室

何故新しい「無機機能性材料」が必要なのでしょう？

「機能性材料の研究」=急速に発展するIT社会を支える基盤技術

将来のエレクトロニクス分野では、
新しい多彩な機能(特性)が要求されています

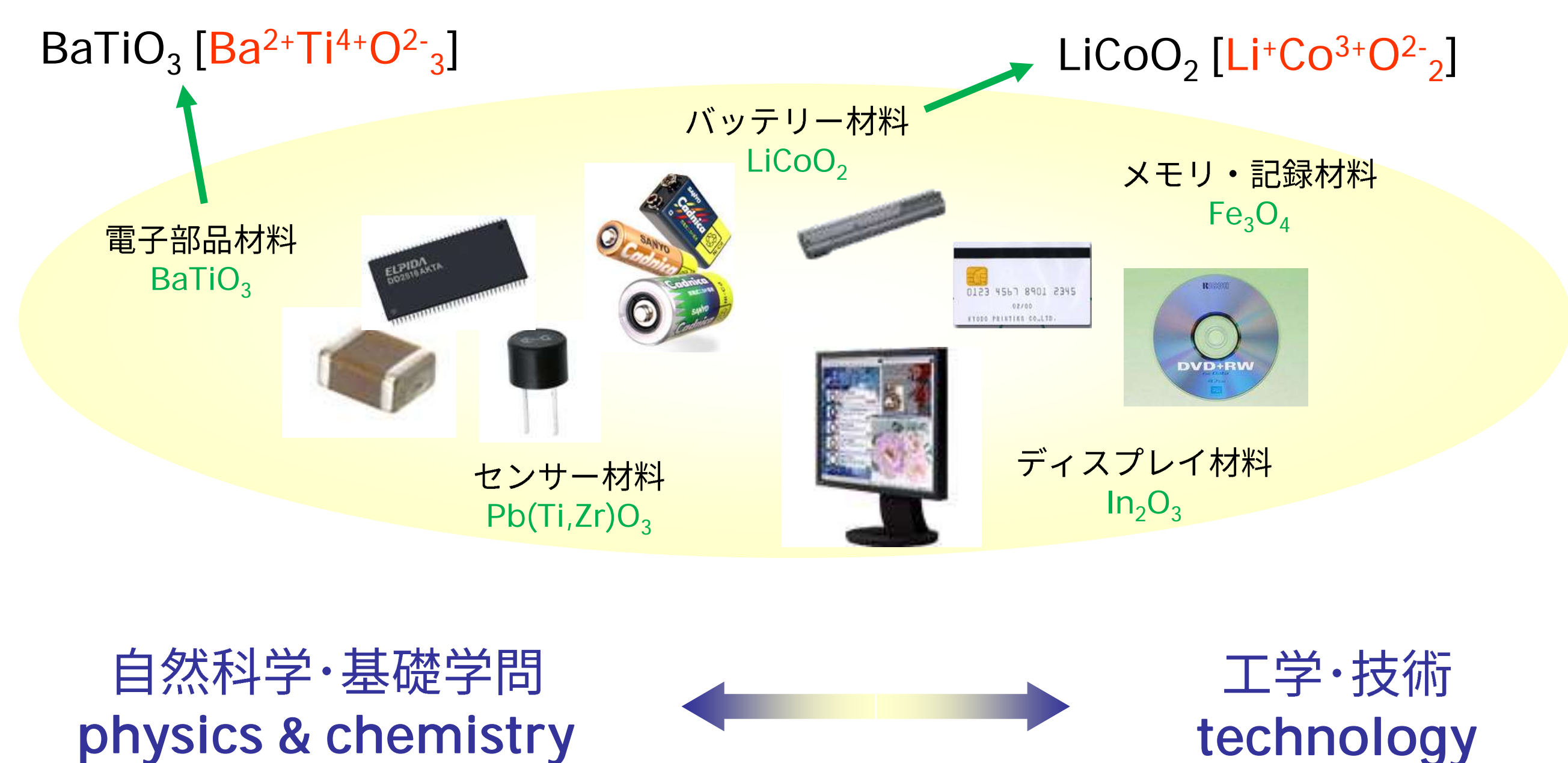
人間の限らない要求(便利さ、快適さ)に応える
エネルギー・資源問題に応える
科学技術の進歩に応える



新しい機能性材料の探索・研究
新しい機能発現のための特性研究

無機機能性材料とイオン結晶

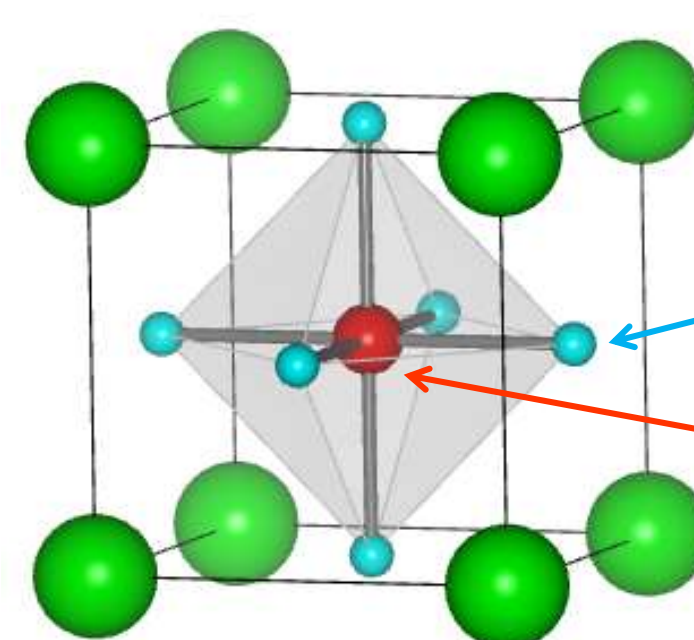
FeやCoなどの酸化物の多くはイオン結晶です
その特性のいくつかは実用材料の機能として役立っています



イオン結晶

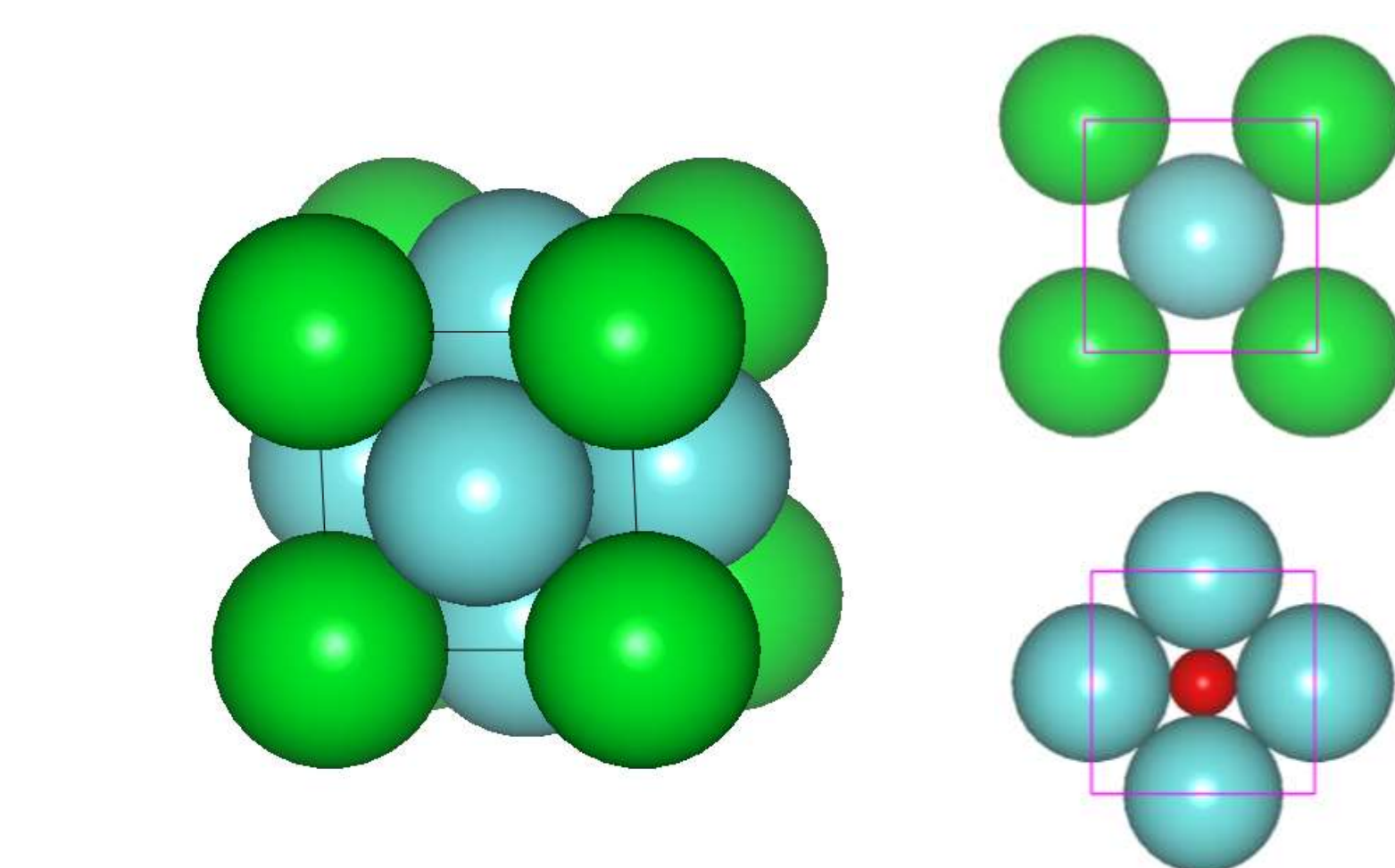
イオン結晶では静電引力が支配的であるため
陽イオンは陰イオンに囲まれ
陰イオンは陽イオンに囲まれています

例: チタン酸ストロンチウム
 $\text{Sr}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_3$



ペロブスカイト型結晶構造
 $a = 3.905 \text{ \AA}$

無色透明な結晶



Sr: $[\text{Kr}] (5s)^2$
Ti: $[\text{Ar}] (3d)^2 (4s)^2$
O: $(1s)^2 (2s)^2 (2p)^4$
Sr²⁺: $[\text{Kr}]$
Ti⁴⁺: $[\text{Ar}]$
O²⁻: $(1s)^2 (2s)^2 (2p)^6 : [\text{Ne}]$

酸化鉄:古くて新しい機能性酸化物材料

Fe: $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ + O: $[\text{He}] 2s^2 2p^4 p^2$

Fe₂O₃ (酸化第二鉄:ヘマタイト)

Fe³⁺₂O²⁻₃

フランス、ラスコーの壁画の赤
高松塚古墳の魔よけの赤
ベンガラ



Fe₃O₄ (四酸化三鉄:マグネタイト)

Fe²⁺Fe³⁺₂O²⁻₄

人類が見出した最古の磁石
磁石、磁気記録材料



FeO (酸化第一鉄:ウスタイト)

Fe²⁺ O²⁻



AFe₂O₄ (A = Mn, Co, Ni, Cu, Zn, etc): スピネルフェライト

AFe₁₂O₁₉ (A = Ba, Sr, Pb, etc): 六方晶フェライト

磁気記録材料として多く使われている

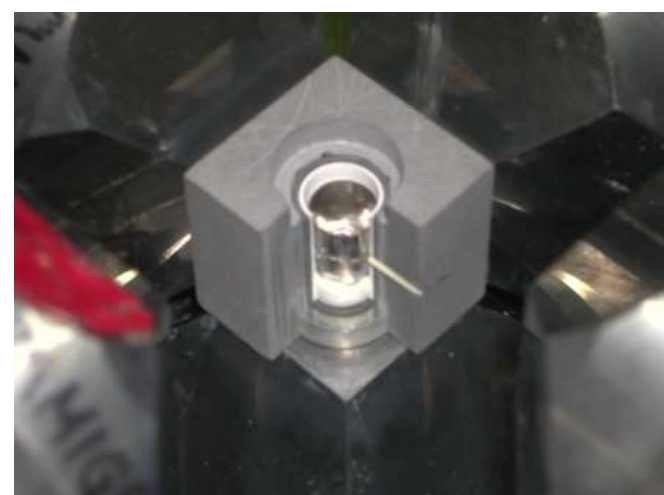
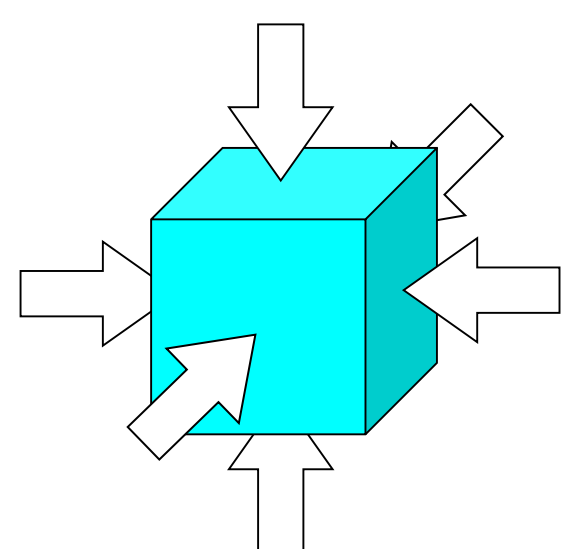


イオン結晶では

陽イオンの価数
酸素イオンの配位構造

が機能を決めます

高压合成



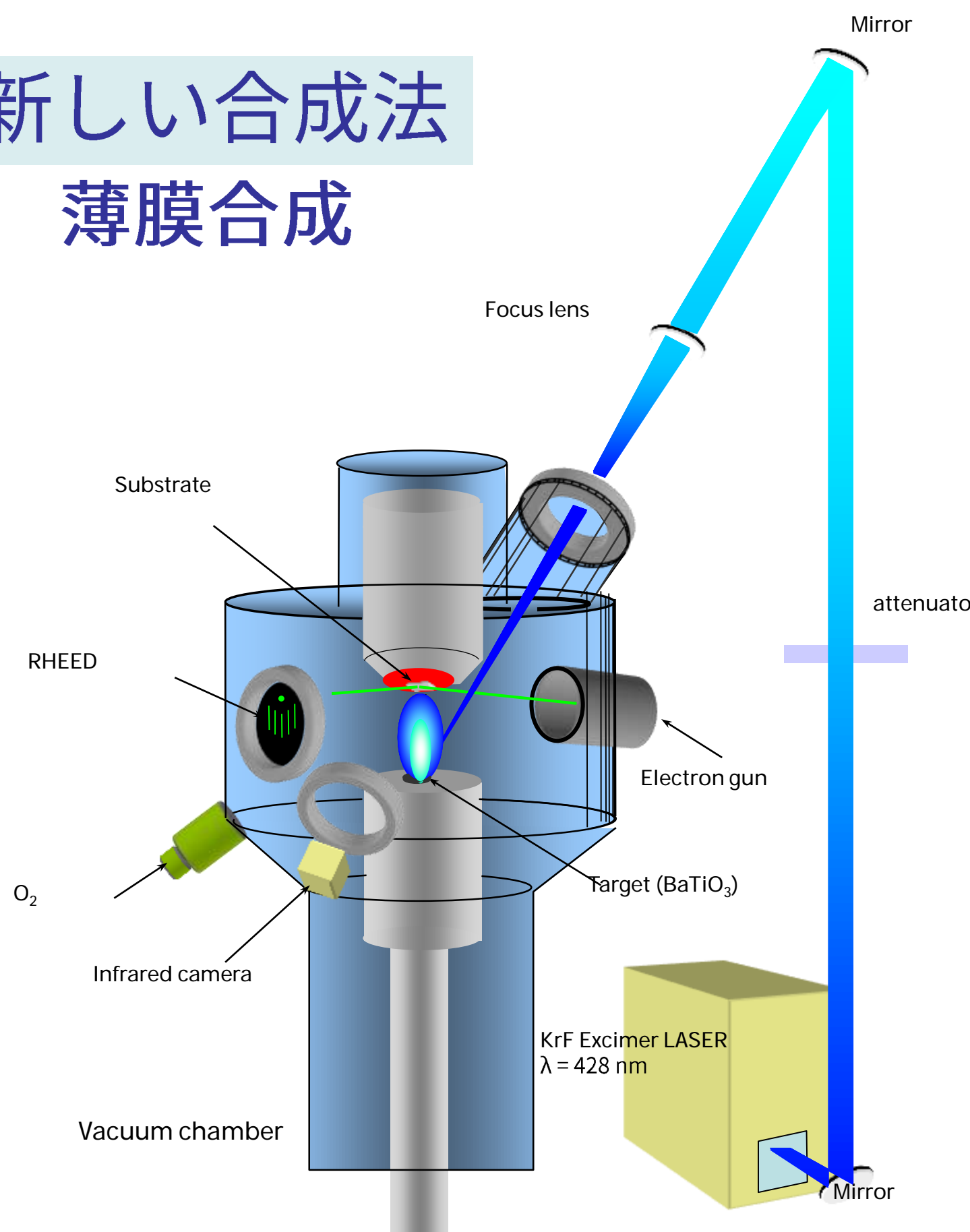
圧力 2~10 GPa、温度 1000~1500°C の
環境下での物質合成

1 Pa (パスカル) は、1平方メートル (m²) の面積につき
1ニュートン (N) の力が作用する圧力または応力

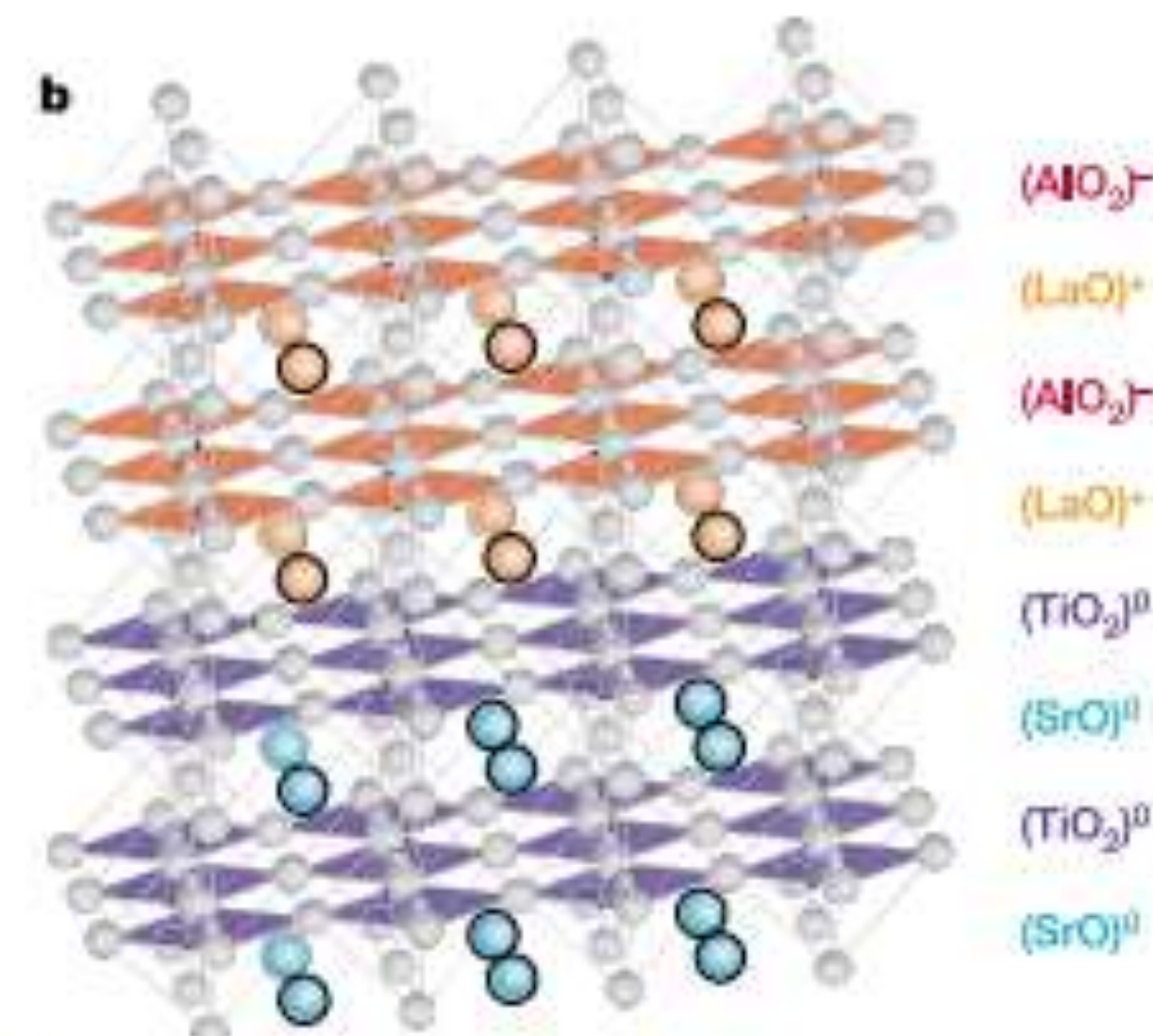
10 KPa: 高さ1メートルの水柱
180~250 KPa: 自動車用タイヤ
12 MPa: 体重60kgの女性がハイヒールを履いたとき
10 GPa: カーボンからダイヤモンドが形成される

機能性酸化物の新しい合成法

薄膜合成



髪の毛の太さ (~100μm) の
1/1000~1/10000000程度の厚さ



A. Ohtomo and H.Y. Hwang, Nature 427, 423~426 (2004)

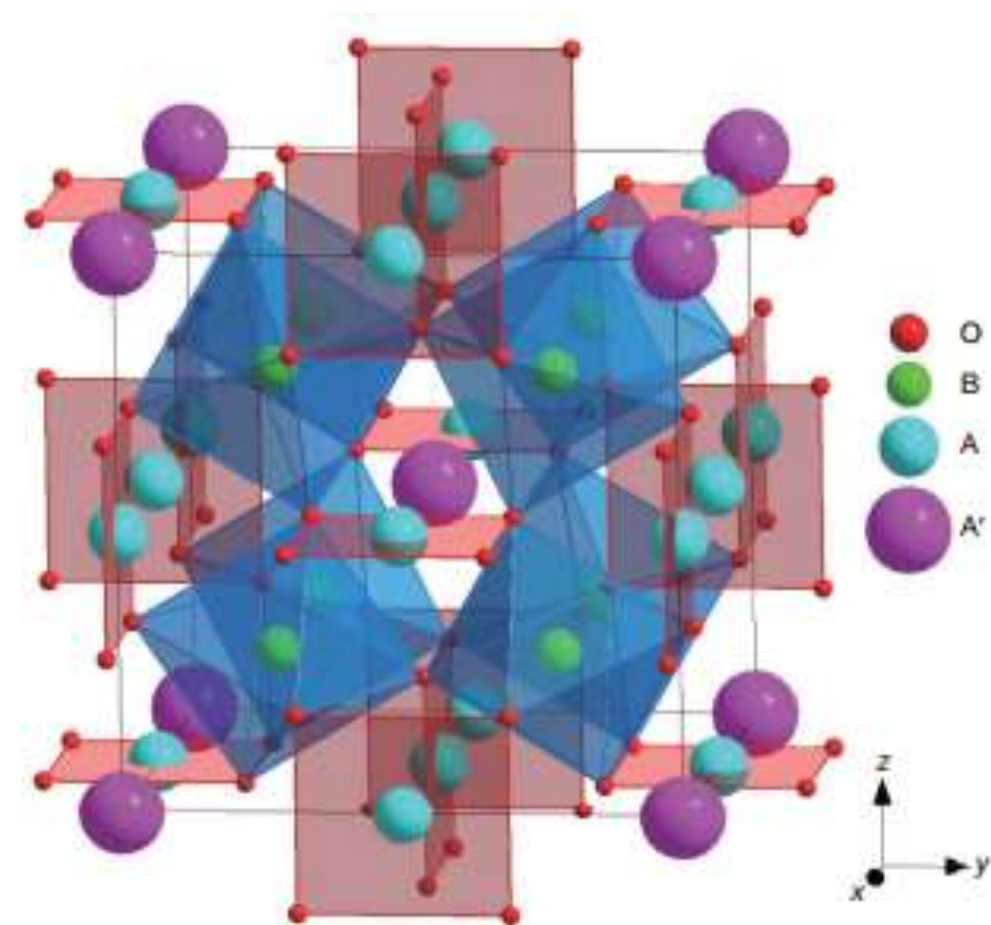
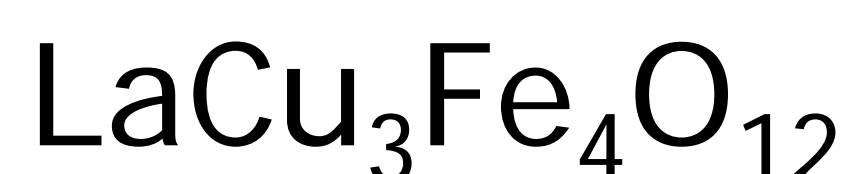
分子1層ごとに制御された
人工的なイオンの配列を実現

研究成果

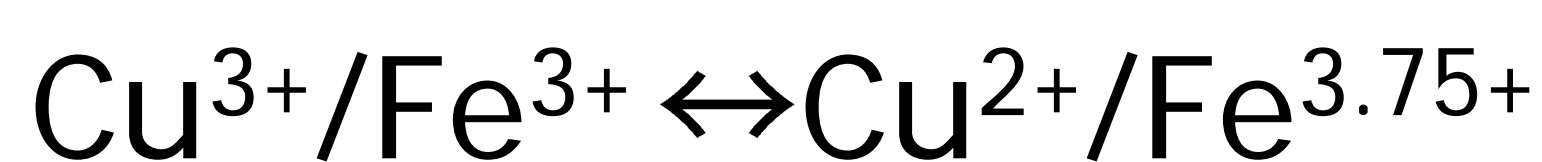
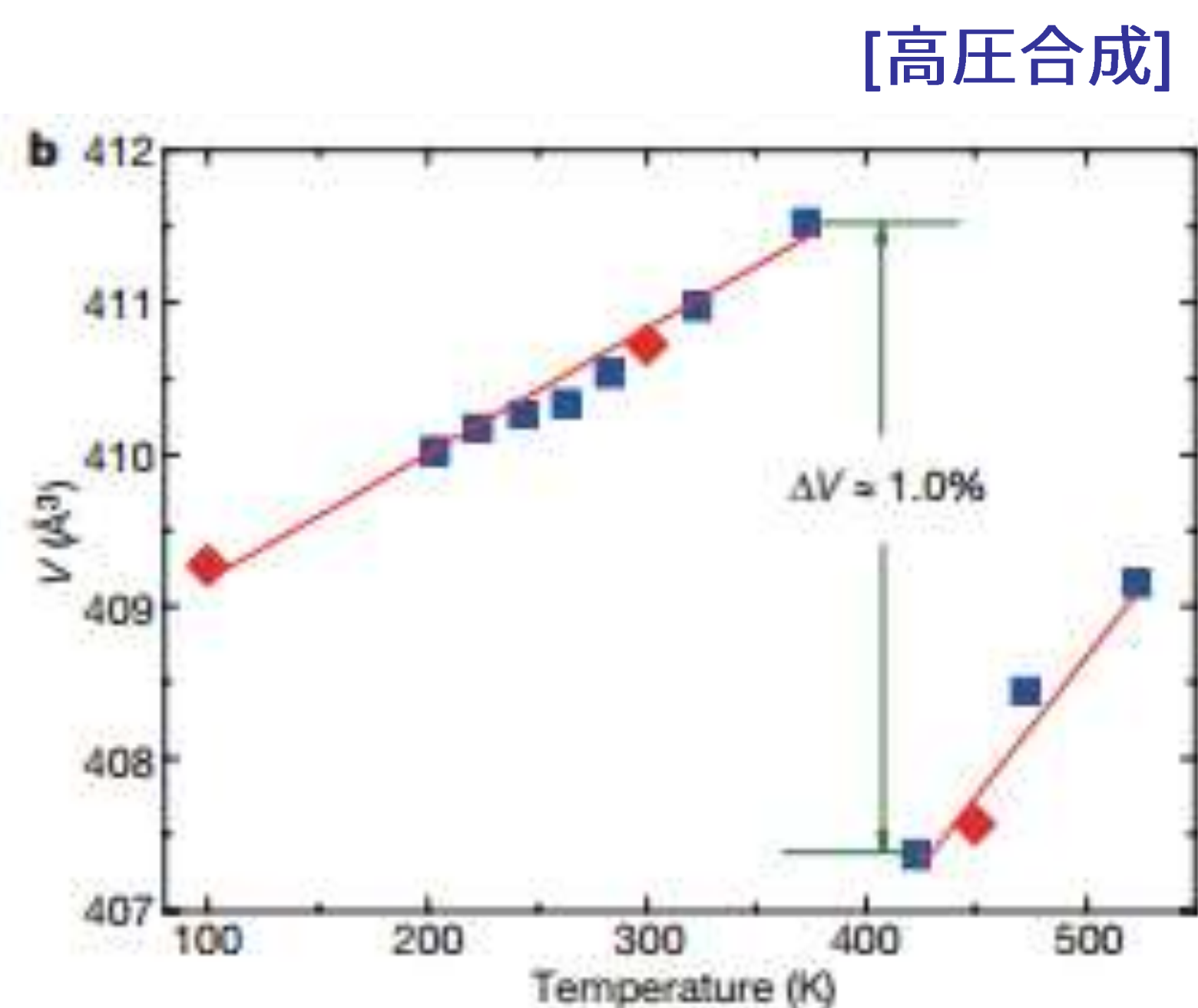
異常高原子価鉄酸化物での電荷不均化と電荷移動

正の熱膨張: 温度が上がると物質は膨張する (通常の物質)

負の熱膨張: 温度が上がると収縮する



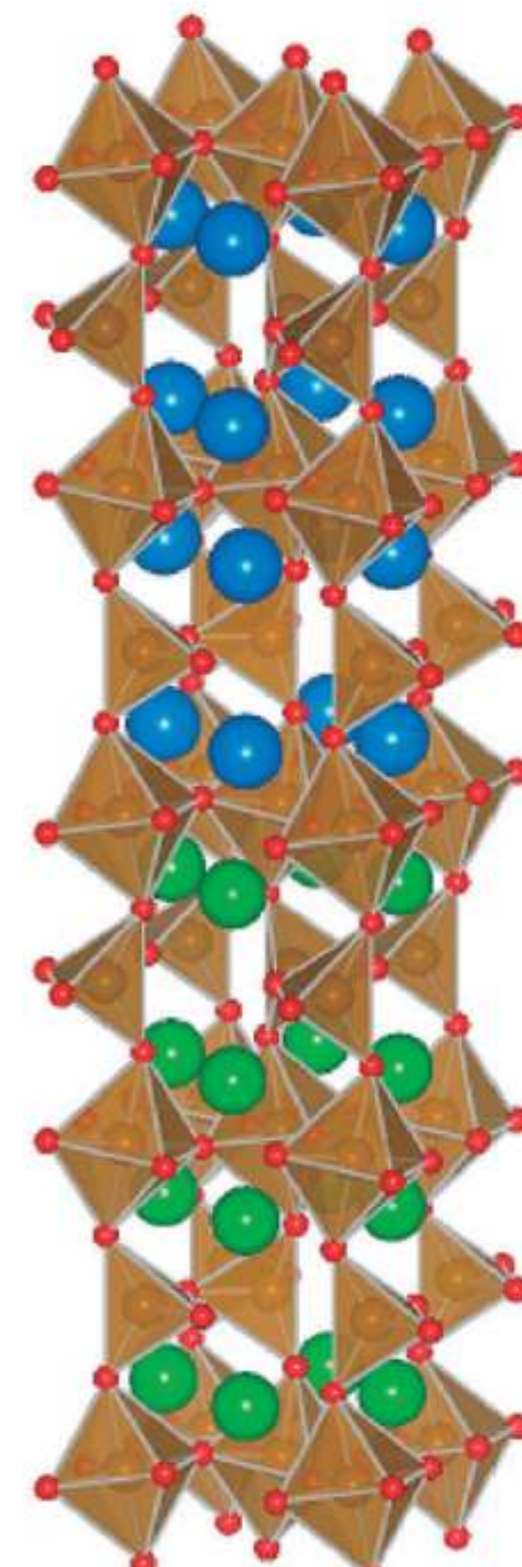
Nature 458, 60–63 (2009)



熱膨張問題を解決する新しい仕組み

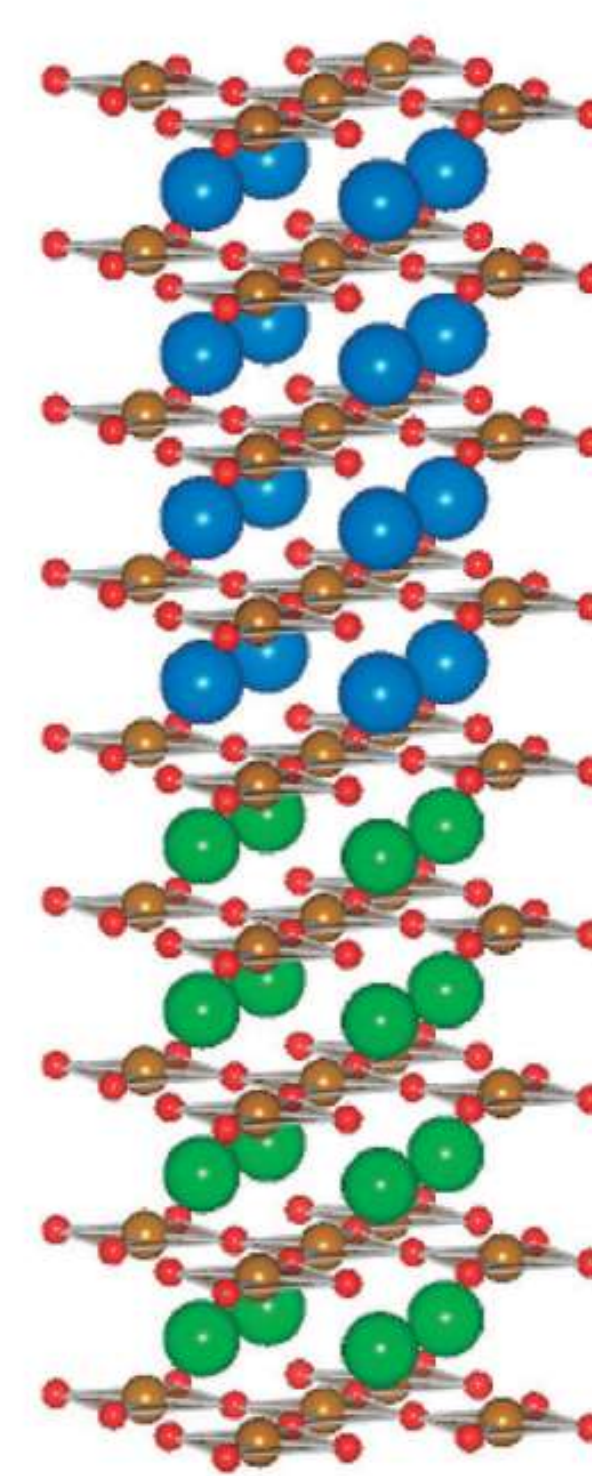
新しい無限層構造 SrFeO_2 薄膜と人工超格子での酸素イオン拡散挙動の解明

[薄膜合成]

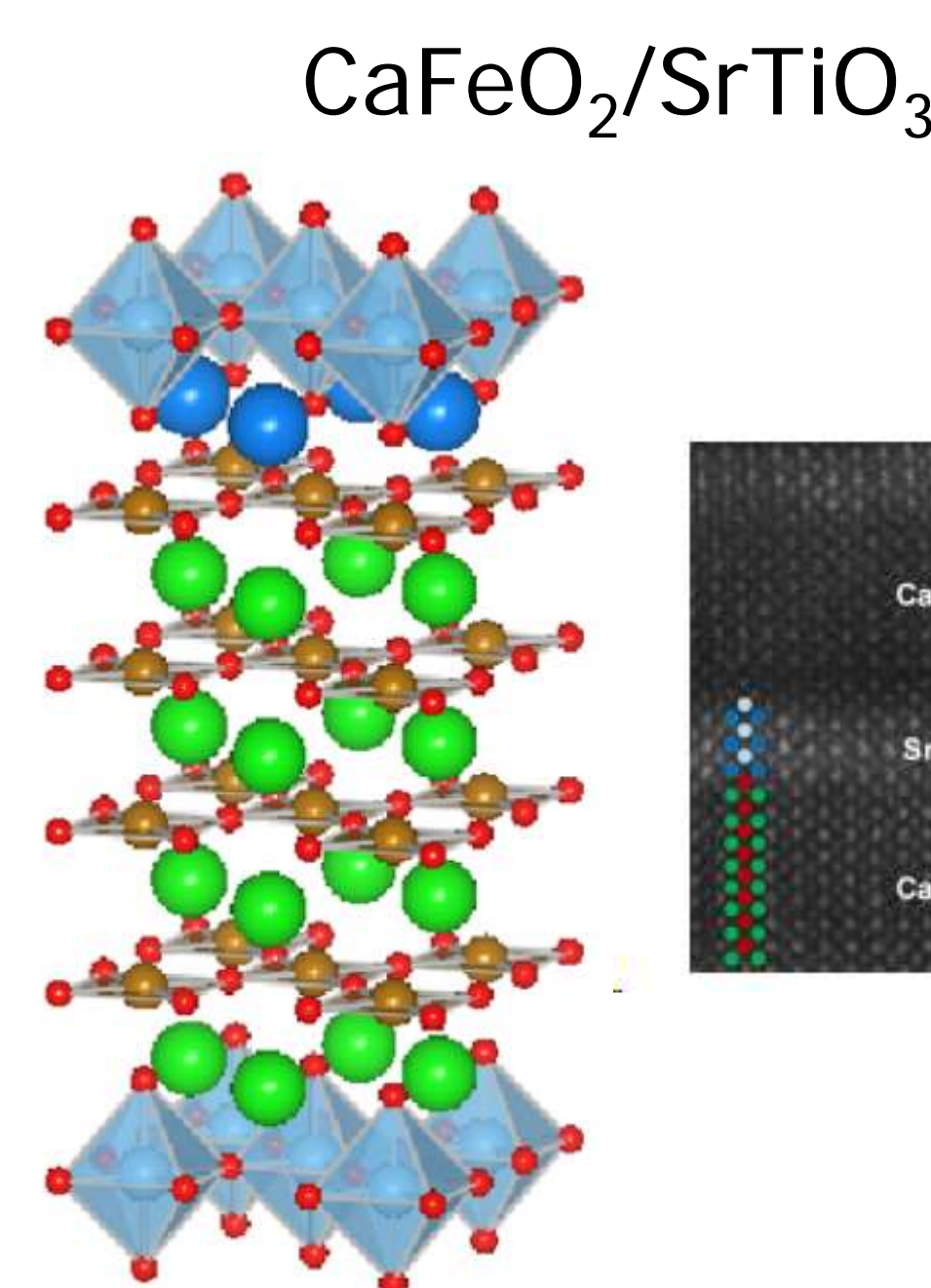


Fe^{3+}
三次元的
広がり

Appl. Phys. Express 3, 105601 (2010)



Fe^{2+}
二次元構造



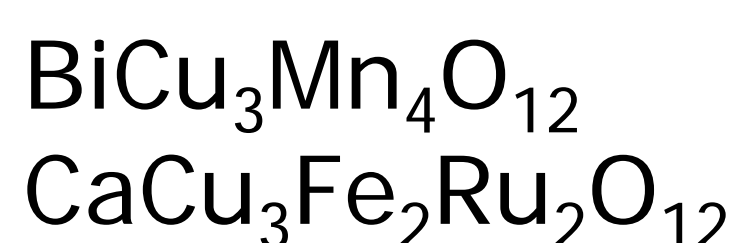
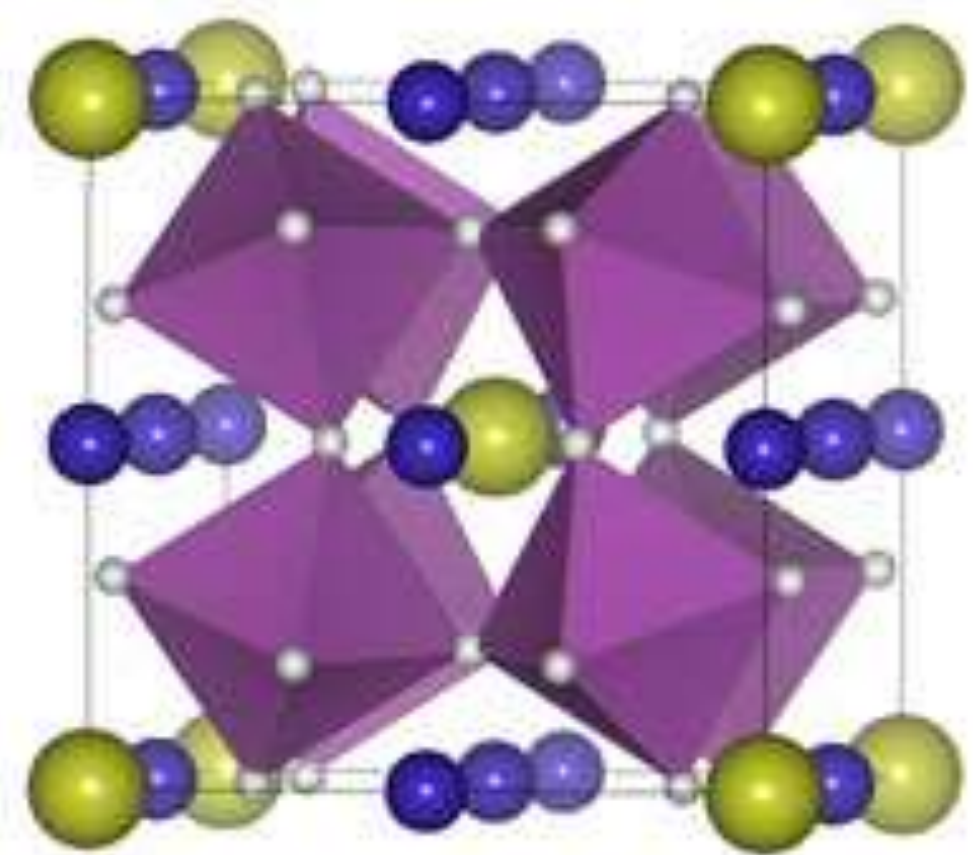
層選択的に酸素イオンが欠損

Sci. Rep. 1, 27 (2011)

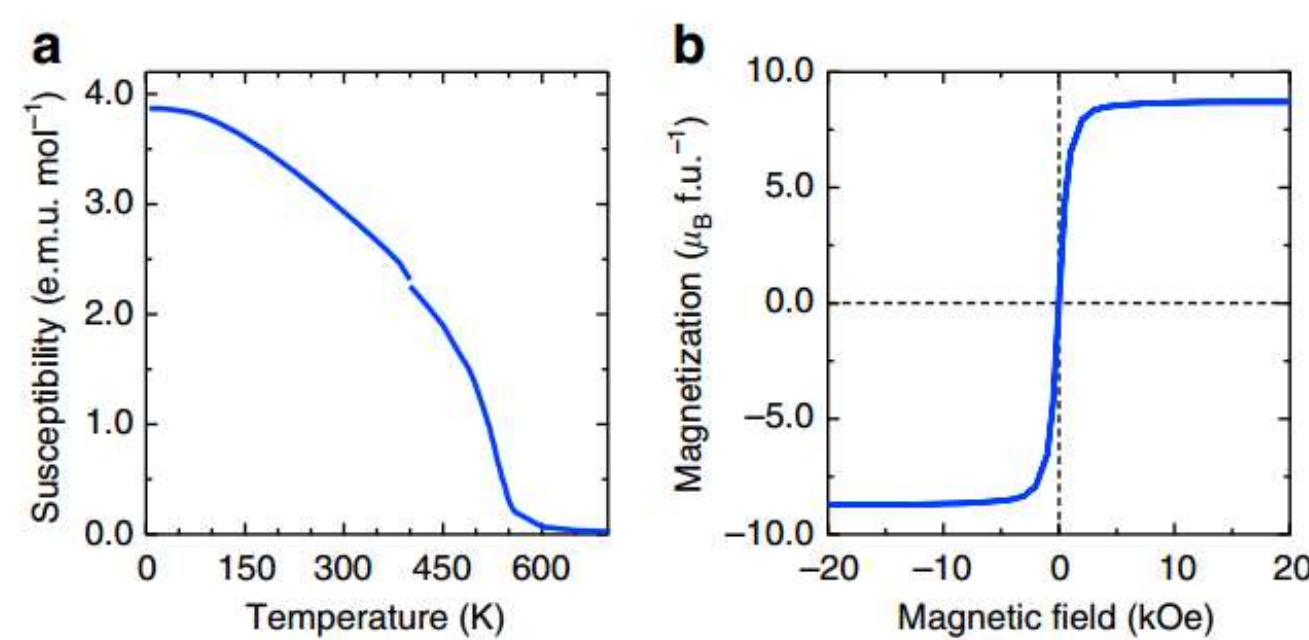
燃料電池(固体酸化物型) への応用が期待

新しいAサイト秩序型ペロブスカイト構造酸化物

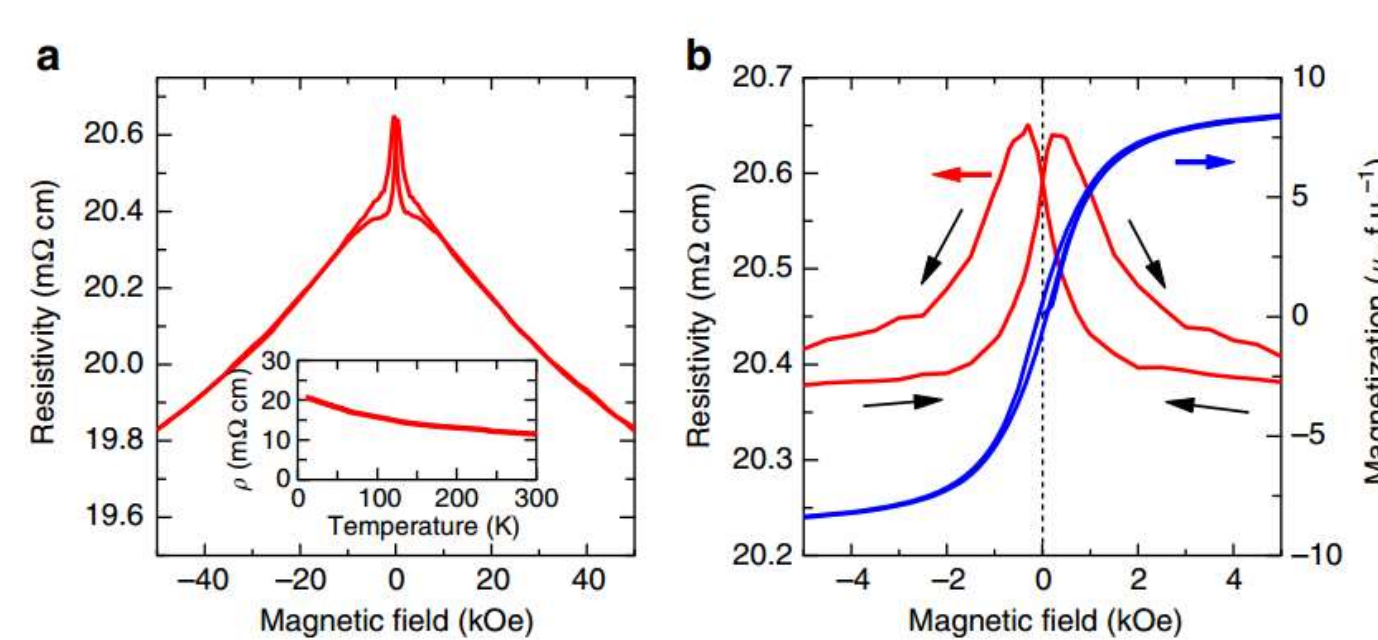
[高圧合成]



電子が持つ2方向のスピンのうち
1方向のみを選択的に流す
「ハーフメタル」
→スピントネル構造において
大きな磁気抵抗効果



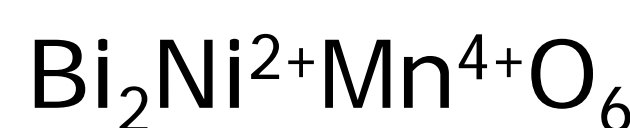
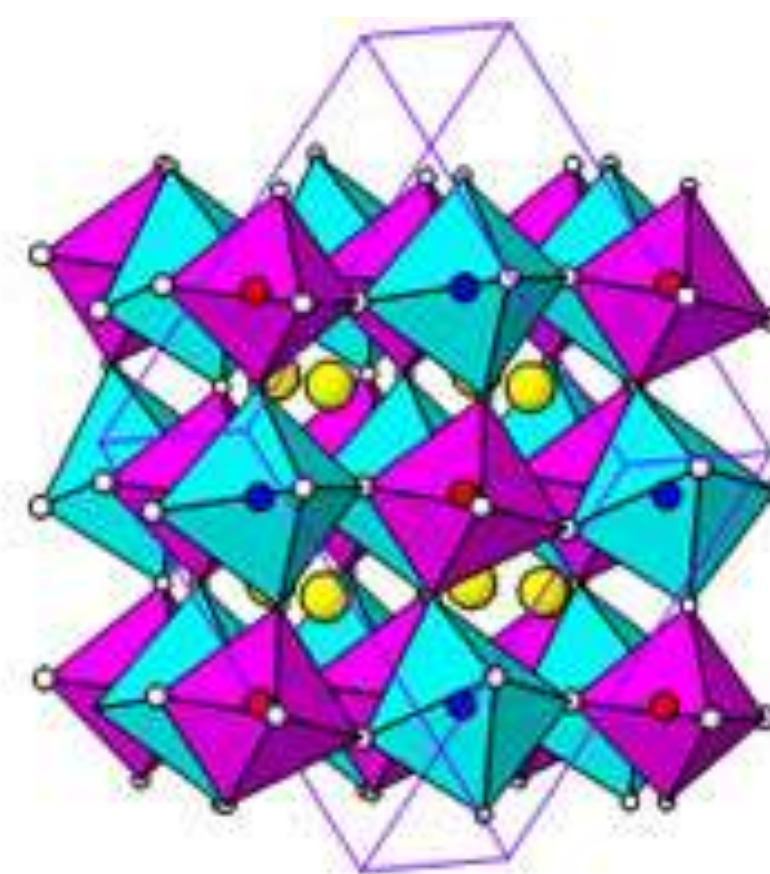
Nat. Commun. 5, 3909 (2014)



新しい磁気記憶材料・スピントロニクス応用

マルチフェロイック ダブルペロブスカイト

[高圧合成・薄膜合成]

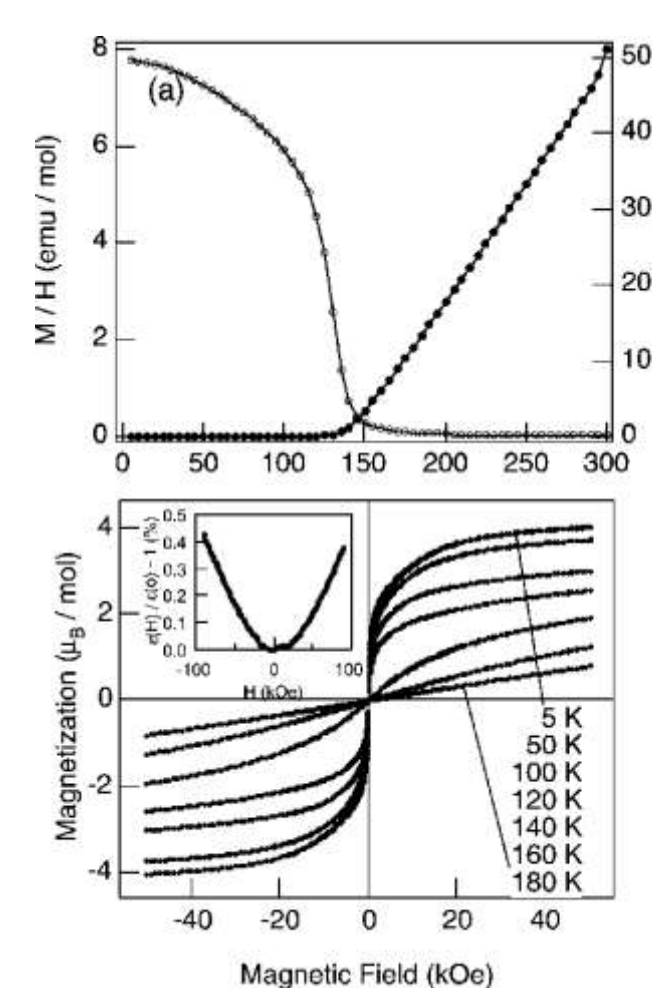


フェロ- (ferro-): 強的な (秩序状態)
強磁性・強誘電性・強弾性・・・

→ マルチフェロイクスとは

複数の秩序状態が
一つの固体に存在
(強磁性と強誘電性、など)

秩序状態間の「交差相関」
から新しい物性



J. Am. Chem. Soc. 127, 8889–8892 (2005)

電気で磁石を制御する新しい素子に発展

自然科学・基礎学問に基づいて
将来に役立つ
新しい酸化物材料を探しています

